Угол преломления света в стекле. Основы физического явления

1308. Возможно ли, чтобы луч проходил через границу раздела двух различных сред, не преломляясь? Если да, то при каком условии?
Да. При условии вертикального падения на границу раздела двух различных сред.

1309. Какова скорость света:
а) в воде,
б) в стекле,
в) в алмазе?

1310. Вычислите показатель преломления стекла относительно воды при прохождении луча света из воды в стекло.

1310
Показатель преломления

$$n = \frac{n_c}{n_в} = \frac{1,5}{1,33} = 1,13$$

1311. На рисунке 161 изображен луч, который идет наклонно к грани стеклянной пластинки, а затем выходит в воздух. Начертите ход луча в воздухе.

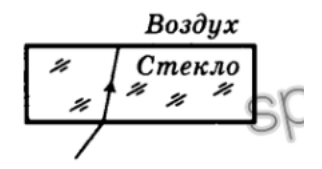


Рис. 161

Воздух

Стекло

Воздух

1312. На рисунке 162 показан луч, который падает из воздуха на грань стеклянной пластинки, проходит ее и выходит в воздух. Начертите ход луча.

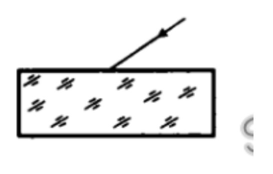
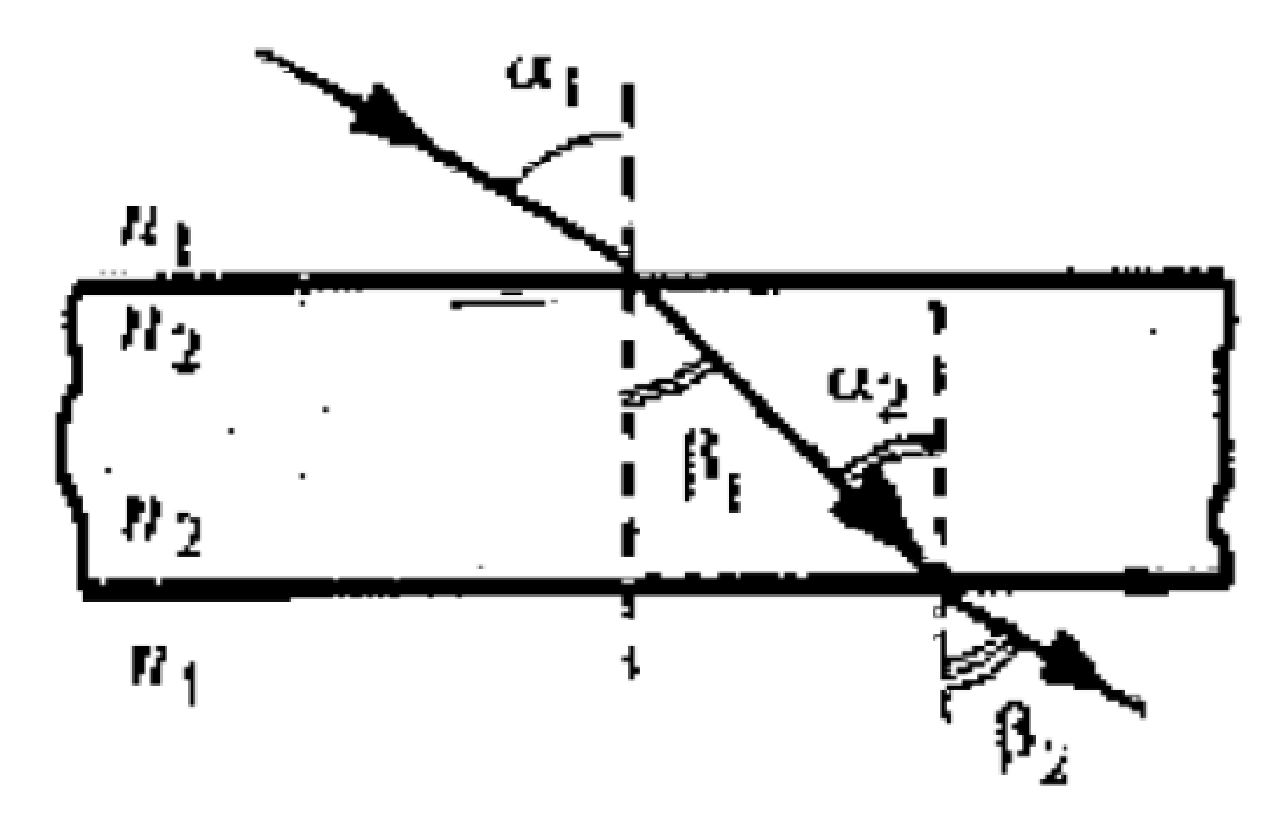


Рис. 162



1313. Луч из воздуха идет в среду А (рис. 163). Найдите показатель преломления среды А.

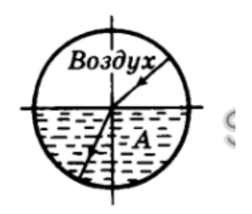


Рис. 163

Показатель преломления найдем из закона преломления

$$\frac{n_a}{n_B} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \Rightarrow n_a = n_B \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 1\frac{\sin 45}{\sin 30} = 1\frac{\sqrt{2}\cdot 2}{2} = 1.4$$

1314. Оптическая плотность воздуха увеличивается с приближением к поверхности Земли. Как это повлияет на ход луча, входящего в атмосферу:

а) вертикально,

б) наклонно?

А) для луча входящего в атмосферу вертикально будет уменьшаться скорость

Б) для луча входящего в атмосферу наклонно будет уменьшаться скорость и искривляться траектория.

1315. Когда вы смотрите через толстое стекло, предметы кажутся вам смещенными. Почему?

Потом что проходя через стекло лучи света преломляются. Тем самым меняя свое направление.

1316. Почему планеты на небе светятся ровным светом, а звезды мерцают?

Это впечатление создается у земного наблюдателя, когда он воспринимает свет звезды после того, как он прошел через атмосферу. Космонавты, наблюдавшие звезды с Луны, где нет атмосферы, видели небо, усеянное звездами, которые светили ровным немигающим светом. Но здесь, на Земле, покрытой толстым слоем атмосферы, лучи света звезд, прежде чем достигнуть поверхности, многократно преломляются в различных направлениях.

1317. Луна имеет форму шара, но нам с Земли ее поверхность кажется плоской, а не выпуклой. Почему?

Шарообразное тело с довольно существенными неровностями на своей поверхности в случае его освещения источником света, находящегося сзади от наблюдателя, должно в наибольшей степени отсвечивать ближе к своему центру, а по мере приближения к краю шара светимость должна плавно уменьшаться.
В силу непонятных для официальной физики причин лучи света, попадающие в край лунного шара, отражаются… назад к Солнцу, отчего мы видим Луну в полнолуние как некую монету, но не как шар.

1318. Когда мы смотрим сквозь воду вниз, на дно водоема, она кажется ближе, чем есть на самом деле. Почему?
Потому что свет преломляется, проходя через линию раздела вода-воздух. И дно кажется ближе чем оно есть на самом деле.

1319*. Прочтите предыдущую задачу. Определите, во сколько раз действительная глубина больше кажущейся.

Используя картинку из задачи 1318

$$\frac{H}{h} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{n_2}{n_1}$$, где n1-воздух; n2-вода.

Из подобия треугольников

$$AS_1 tg\beta = AS tg\alpha$$

$$\frac{AS_1}{AS} = \frac{tg\alpha}{tg\beta} \approx \frac{\alpha}{\beta} = n = 1.33$$

Больше в 1,33 раза.

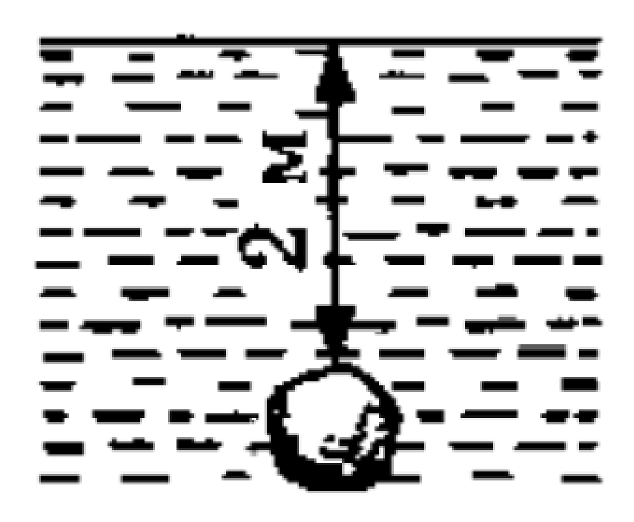
1320*. Камень лежит на дне реки на глубине 2 м (рис. 164). Если смотреть на него сверху, то на какой глубине он нам будет казаться?

Используя пропорцию

$$\frac{H}{h} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow h = H\frac{n_2}{n_1}$$

$$h = 2\frac{1}{1.33} = 1.5м$$

Он будет казаться на глубине 1,5 метров.



1321. Прямой стержень опущен в воду (рис. 165). Наблюдатель смотрит сверху. Каким ему представится конец стержня?



Рис. 165

Стержень под водой будет казаться ближе, чем он есть на самом деле. Из-за преломления лучей на границе вода-воздух.

1322. В воде находится полая стеклянная призма, заполненная воздухом. Начертите ход луча, падающего на одну из преломляющих граней такой призмы. Можно ли сказать, что такая призма дважды отклоняет к основанию проходящий через нее луч света?

При прохождении луча из воды в воздух, луч отклоняется вверх по горизонтали, т.к. угол преломления в воздухе больше угла падения в воде. Пройдя сквозь призму, луч падает на границу раздела воздух-вода. Затем преломляется отклоняясь еще немного вверх.



1323. Показатель преломления воды 1,33, скипидара 1,51. Найдите показатель преломления скипидара относительно воды.

1325. Определите скорость света в алмазе, показатель преломления которого 2,4.

1326. Начертите ход луча при переходе его из стекла в воздух, если угол падения составляет 45°, а показатель преломления стекла 1,72.

1327. Найдите предельный угол полного внутреннего отражения для каменной соли (n=1.54).

1328. Определите смещения луча при прохождении через плоскопараллельную стеклянную пластинку толщиной d=3 см, если луч падает под углом 60°. Показатель преломления стекла n=1,51.

1329. Найдите положение изображения объекта, расположенного на расстоянии 4 см от передней поверхности плоскопараллельной пластинки толщиной 1 см, посеребренной с задней стороны, считая, что показатель преломления вещества пластинки равен 1,51.

1330. Толстая стеклянная пластинка плашмя целиком погружена в воду. Начертите ход луча, идущего из воздуха через воду и пластинку. (Стекло – среда оптически более плотная, чем вода).

1331. Иногда предметы, наблюдаемые нами через окно, кажутся искривленными. Почему?
Потому что стекло не идеально ровное и гладкое. Это из-за неодонородного распределения оптической плоскости стекла.

1332. На рисунке 166 показан точечный источник света S, расположенный перед трехгранной призмой. Если смотреть на S через призму, то в каком месте нам будет казаться эта точка? Начертите ход лучей.

1333. Световой луч идет перпендикулярно одной из граней стеклянной прямоугольной трехгранной призмы (рис. 167). Начертите ход луча через призму.

Процессы, которые связаны со светом, являются важной составляющей физики и окружают нас в нашей обыденной жизни повсеместно. Самые важные в данной ситуации являются законы отражения и преломления света, на которых зиждется современная оптика. Преломление света является важной составляющей частью современной науки.

Эффект искажения

Эта статья расскажет вам, что собой представляет явление преломления света, а также как выглядит закон преломления и что из него вытекает.

Основы физического явления

При падении луча на поверхность, которая разделяется двумя прозрачными веществами, имеющими разную оптическую плотность (к примеру, разные стекла или в воде), часть лучей будет отражена, а часть – проникнет во вторую структуру (например, пойдет распространяться в воде или стекле). При переходе из одной среды в другую для луча характерно изменение своего направления. Это и есть явление преломления света.
Особенно хорошо отражение и преломление света видно в воде.

Эффект искажения в воде

Смотря на вещи, находящиеся в воде, они кажутся искаженными. Особенно это сильно заметно на границе между воздухом и водой. Визуально кажется, что подводные предметы слегка отклонены. В описываемом физическом явлении как раз и кроется причина того, что в воде все объекты кажутся искаженными. При попадании лучей на стекло, данный эффект менее заметен.
Преломление света представляет собой физическое явление, которое характеризуется изменением направления движения солнечного луча в момент перемещения из одной среды (структуры) в другую.
Для улучшения понимания данного процесса, рассмотрим пример попадания луча из воздуха в воду (аналогично для стекла). При проведении перпендикуляра вдоль границы раздела можно измерить угол преломления и возвращения светового луча. Данный показатель (угол преломления) будет изменяться при проникновении потока в воду (внутрь стекла).
Обратите внимание! Под данным параметром понимается угол, который образует перпендикуляр, проведенный к разделу двух веществ при проникновении луча из первой структуры во вторую.

Прохождение луча

Этот же показатель характерен и для других сред. Установлено, что данный показатель зависит от плотности вещества. Если падение луча происходит из менее плотной в более плотную структуру, то угол создаваемого искажения будет больше. А если наоборот – то меньше.
При этом изменение наклона падения также скажется и на данном показателе. Но отношение между ними не остается постоянным. В то же время, отношение их синусов останется постоянной величиной, которую отображает следующая формула: $\sin\alpha / \sin\gamma = n$, где:

- n – постоянная величина, которая описана для каждого конкретного вещества (воздуха, стекла, воды и т.д.). Поэтому, какова будет данная величина можно определить по специальным таблицам;
- α – угол падения;
- γ – угол преломления.

Для определения этого физического явления и был создан закон преломления.

Физический закон

Закон преломления световых потоков позволяет определить характеристики прозрачных веществ. Сам закон состоит из двух положений:

- первая часть. Луч (падающий, измененный) и перпендикуляр, который был восстановлен в точке падения на границе, например, воздуха и воды (стекла и т.д.), будут располагаться в одной плоскости;
- вторая часть. Показатель соотношения синуса угла падения к синусу этого же угла, образовавшегося при переходе границы, будет величиной постоянной.

Описание закона

При этом в момент выхода луча из второй структуры в первую (например, при прохождении светового потока из воздуха, через стекло и обратно в воздух), также будет возникать эффект искажения.

Важный параметр для разных объектов

Основной показатель в данной ситуации — это соотношение синуса угла падения к аналогичному параметру, но для искажения. Как следует из закона, описанного выше, данный показатель являет собой постоянную величину.
При этом при изменении значения наклона падения, такая же ситуация будет характерна и для аналогичного показателя. Данный параметр имеет большое значение, поскольку является неотъемлемой характеристикой прозрачных веществ.

Показатели для разных объектов

Благодаря этому параметру можно довольно эффективно различать виды стекол, а также разнообразные драгоценные камни. Также он важен для определения скорости перемещения света в различных средах.

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ! НАИВЫСШАЯ СКОРОСТЬ СВЕТОВОГО ПОТОКА – В ВАКУУМЕ.

При переходе из одного вещества в другие, его скорость будет уменьшаться. К примеру, у алмаза, который обладает самым большим показателем преломляемости, скорость распространения фотонов будет в 2,42 раза выше, чем у воздуха. В воде же они будут распространяться медленнее в 1,33 раза. Для разных видов стекол данный параметр колеблется в диапазоне от 1,4 до 2,2.

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ! НЕКОТОРЫЕ СТЕКЛА ИМЕЮТ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЯЕМОСТИ 2,2, ЧТО ОЧЕНЬ БЛИЗКО К АЛМАЗУ (2,4). ПОЭТОМУ НЕ ВСЕГДА ПОЛУЧИТСЯ ОТЛИЧИТЬ СТЕКЛЯШКУ ОТ РЕАЛЬНОГО АЛМАЗА.

Оптическая плотность веществ

Свет может проникать через разные вещества, которые характеризуются различными показателями оптической плотности. Как мы уже говорили ранее, используя данный закон можно определить характеристику плотности среды (структуры). Чем более плотной она будет, тем с меньшей скоростью в ней будет распространяться свет. Например, стекло или вода будут более оптически плотными, чем воздух.
Кроме того, что данный параметр является постоянной величиной, он еще и отражает отношение скорости света в двух веществах. Физический смысл можно отобразить в виде следующей формулы:

Данный показатель говорит, каким образом изменяется скорость распространения фотонов при переходе из одного вещества в другое.

Еще один важный показатель

При перемещении светового потока через прозрачные объекты возможна его поляризация. Она наблюдается при прохождении светового потока от диэлектрических изотропных сред. Поляризация возникает при прохождении фотонов через стекло.

Эффект поляризации

Частичная поляризация наблюдается, когда угол падения светового потока на границе двух диэлектриков будет отличаться от нуля. Степень поляризации зависит от того, каковы были углы падения (закон Брюстера).

Полноценное внутреннее отражение

Завершая наш небольшой экскурс, еще необходимо рассмотреть такой эффект, как полноценное внутреннее отражение.

Явление полноценного отображения

Для появления данного эффекта необходимо увеличение угла падения светового потока в момент его перехода из более плотного в менее плотную среду в границе раздела между веществами. В ситуации, когда данный параметр будет превосходить определенное предельное значение, тогда фотоны, падающие на границу этого раздела будут полностью отражаться. Собственно это и будет наше искомое явление. Без него невозможно было сделать волоконную оптику.

Заключение

Практическое применение особенностей поведения светового потока дали очень многое, создав разнообразные технические приспособления для улучшения нашей жизни. При этом свет открыл перед человечеством далеко не все свои возможности и его практический потенциал еще полностью не реализован.

Как сделать бумажный светильник своими руками

Как проверить работоспособность светодиодной ленты

Преломление света – это изменение направления луча на границе двух сред разной плотности.

Пояснение: луч света, упав в воду, меняет свое направление на границе двух сред (то есть на поверхности воды). Луч буквально преломляется. Это явление и называют преломлением света. Оно происходит из-за того, что у воды и воздуха разные плотности.

Вода плотнее воздуха, и у луча света, упавшего на ее поверхность, замедляется скорость. Таким образом, вода – оптически более плотная среда.

Оптическая плотность среды характеризуется различной скоростью распространения света.

Угол преломления (ϒ) – это угол, образуемый преломленным лучом и перпендикуляром к точке падения луча на поверхности раздела двух сред.

Пояснение:

Луч упал на поверхность воды в какой-то определенной точке и преломился. Проведем от этой точки перпендикуляр в ту же сторону, в какую «ушел» преломленный луч – в нашем случае перпендикуляр направлен в сторону дна водоема. Угол, образуемый этим перпендикуляром и преломленным лучом, и называют углом преломления.

Если свет идет из оптически менее плотной среды в оптически более плотную среду, то угол преломления всегда меньше угла падения.

Например, у света, падающего в воду, угол падения больше угла преломления. Причина в том, что вода – более плотная среда, чем воздух.

Для любых двух сред с различной оптической плотностью верна формула:

sin ***a***
--- = *n*
sin ***ϒ***

где ***n*** – постоянная величина, не зависящая от угла падения.

Пояснение:

Возьмем три луча, падающих в воду.

Их углы падения равны 30°, 45° и 60°.

Углы преломления этих лучей составят соответственно 23°, 33° и 42°.

Если составить соотношение углов падения и углов преломления, то получим одно и то же число:

sin 30° sin 45° sin 60°
--- = --- = --- ≅ 1,3
sin 23° sin 33° sin 42°

Таким образом, если мы разделим угол падения луча в воду и угол его преломления, то получим 1,3. Это постоянная величина (***n***), которую и находят с помощью приведенной выше формулы.

Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр, проведенный от точки падения луча, лежат в одной плоскости.

В предыдущих параграфах мы изучили явление отражения света. Познакомимся теперь со вторым явлением, при котором лучи меняют направление своего распространения. Это явление – *преломление света на границе раздела двух сред.* Взгляните на чертежи с лучами и аквариумом в § 14-б. Луч, выходящий из лазера, был прямолинейным, но, дойдя до стеклянной стенки аквариума, луч изменил направление – *преломился.*

Преломлением света *называют изменение направления луча на границе раздела двух сред, при котором свет переходит во вторую среду* (сравните с отражением). Например, на рисунке мы изобразили примеры преломления светового луча на границах воздуха и воды, воздуха и стекла, воды и стекла.

Из сравнения левых чертежей следует, что пара сред «воздух-стекло» преломляет свет сильнее, чем пара сред «воздух-вода». Из сравнения правых чертежей видно, что при переходе из воздуха в стекло свет преломляется сильнее, чем при переходе из воды в стекло. То есть, *пары сред, прозрачные для оптических излучений, обладают различной преломляющей способностью,*

характеризующейся ***относительным показателем преломления.*** Он вычисляется по формуле, указанной на следующей странице, поэтому может быть измерен экспериментально. Если в качестве первой среды выбран вакуум, то получаются значения:

Эти значения измерены при 20 °С для жёлтого света. При другой температуре или другом цвете света показатели будут иными (см. § 14-з). При качественном рассмотрении таблицы отметим: *чем больше показатель преломления отличается от единицы, тем больше угол, на который отклоняется луч, переходя из вакуума в среду.* Поскольку показатель преломления воздуха почти не отличается от единицы, влияние воздуха на распространение света практически незаметно.

Закон преломления света. Чтобы рассмотреть этот закон, введём определения. Угол между падающим лучом и перпендикуляром к границе раздела двух сред в точке излома луча назовём *углом падения* (a). Аналогично, угол между преломлённым лучом и перпендикуляром к границе раздела двух сред в точке излома луча назовём *углом преломления* (g).

При преломлении света всегда выполняются закономерности, составляющие ***закон преломления света:*** *1. Луч падающий, луч преломлённый и перпендикуляр к границе раздела сред в точке излома луча лежат в одной плоскости. 2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления – постоянная величина, не зависящая от углов:*

Применяют и качественную трактовку закона преломления света: *при переходе света в оптически более плотную среду луч отклоняется к перпендикуляру к границе раздела сред.* И наоборот.

Принцип обратимости световых лучей. При отражении или преломлении света падающий и отражённый лучи всегда можно поменять местами. Это означает, что *ход лучей не изменится, если изменить их направления на противоположные.* Многочисленные опыты подтверждают: при этом «траектория» хода лучей не меняется (см. чертёж).

Без сомнения, вы знаете, как герои романа Жюля Верна "Таинственный остров", заброшенные на необитаемую землю, добыли огонь без спичек и огнива. Робинзону явилась на помощь молния, зажегшая дерево, новым же Робинзонам Жюля Верна помогла не случайность, а находчивость сведущего инженера и твердое знание им законов физики. Помните, как удивился наивный моряк Пенкроф, когда, возвратившись с охоты, нашел инженера и журналиста перед пылающим костром.
" – Но кто же зажег огонь? – спросил моряк.
– Солнце, – ответил Спилетт.
Журналист не шутил. Действительно, Солнце доставило огонь, которым так восторгался моряк. Он не верил своим глазам и был до того изумлен, что даже не мог расспрашивать инженера.
– Значит, у вас было зажигательное стекло? – спросил инженера Герберт.
– Нет, но я его изготовил.
И он его показал. Это были просто два стекла, снятые инженером со своих часов и часов Спилетта. Он соединил их края глиной, предварительно наполнив водой, и таким образом получилась настоящая зажигательная чечевица, с помощью которой, сосредоточив солнечные лучи на сухом мхе, инженер добыл огонь".
Читатель пожелает, я думаю, узнать, зачем нужно заполнять водой пространство между часовыми стеклами: разве наполненная воздухом двояковыпуклая чечевица не сосредоточивает лучей?
Именно нет. Часовое стекло ограничено двумя параллельными (концентрическими) поверхностями – наружной и внутренней; а известно из физики, что, проходя через среду, ограниченную такими поверхностями, лучи почти не изменяют своего направления. Проходя затем через второе такое же стекло, они и здесь не отклоняются, а следовательно, не собираются в фокусе. Чтобы сосредоточить лучи в одной точке, необходимо заполнить пространство между стеклами каким-нибудь прозрачным веществом, которое преломляло бы лучи сильнее, нежели воздух. Так и поступил инженер в романе Жюля Верна.
Обыкновенный графин с водой, если имеет шарообразную форму, также может служить зажигательной чечевицей. Это знали уже древние, которые заметили и то, что сама вода при этом остается холодной. Случалось даже, что стоящий на открытом окне графин с водой зажигал занавески, скатерть, обугливал стол. Те огромные шаровые бутылки с окрашенной водой, которые, по старинному обычаю, украшали раньше витрины аптек, могли быть иногда причиной настоящих катастроф, вызывая возгорание легко воспламеняющихся веществ, расположенных поблизости.
Небольшой круглой колбой, наполненной водой, можно даже при небольших размерах колбы довести до кипения воду, налитую на часовое стеклышко: для этого достаточна колба сантиметров в 12 диаметром. При 15 см в фокусе [Фокус помещается при этом весьма близко к колбе] получается температура 120°. Зажечь папироску с помощью колбы с водой так же легко, как и стеклянной чечевицей, о которой еще Ломоносов в своем стихотворении "О пользе стекла" писал:

Мы пламень солнечный стеклом здесь получаем
И Прометею тем безбедно подражаем.
Ругаясь подлости нескладных оных врак,
Небесным без греха огнем курим табак.

Следует заметить, однако, что зажигательное действие водяных линз значительно слабее, чем стеклянных. Это связано, во-первых, с тем, что преломление света в воде гораздо меньше, чем в стекле, во-вторых, вода в сильной степени поглощает инфракрасные лучи, которые играют большую роль в нагревании тел.
Любопытно, что зажигательное действие стеклянных чечевиц известно было еще древним грекам, более чем за тысячелетие раньше изобретения очков и зрительных труб. О нем упоминает Аристофан в знаменитой комедии "Облака". Сократ предлагает Стрептиаду задачу:
"Если бы кто писал обязательство на тебя в пяти талантах, как бы ты уничтожил оное?
Стрептиад. Нашел я, как истребить обязательство, да такой способ, что ты и сам признаешь его прехитрым! Видал ты, конечно, в аптеках камень прекрасный, прозрачный, которым зажигают?
Сократ. Зажигательное стекло?
Стрептиад. Точно так.
Сократ. Что же далее?
Стрептиад. Пока нотариус пишет, я, став позади его, направлю лучи Солнца на обязательство, да слова-то все и растоплю…"
Напомню для пояснения, что греки времен Аристофана писали на навощенных дощечках, которые от тепла легко растапливались.

Как добыть огонь с помощью льда?

Материалом для двояковыпуклой линзы, а следовательно, и для добывания огня, может послужить также лед, если он достаточно прозрачен. При этом лед, преломляя лучи, сам не нагревается и не тает. Показатель преломления льда лишь немногим меньше, чем у воды, и если, как мы видели, можно добыть огонь с помощью шара, наполненного водой, то возможно сделать это и с помощью чечевицы из льда.
Ледяная чечевица сослужила хорошую службу в жюль-верновом "Путешествии капитана Гаттераса". Доктор Клоубони таким именно образом зажег костер, когда путники потеряли огниво и очутились без огня, при страшном морозе в 48 градусов.
– "Это несчастье, – сказал Гаттерас доктору.
– Да, – отвечал тот.
– У нас нет даже подзорной трубы, с которой мы могли бы снять чечевицу и добыть огня.
– Знаю, – ответил доктор, – и очень жаль, что нет: солнечные лучи достаточно сильны, чтобы зажечь трут.
– Что делать, придется утолить голод сырой медвежатиной, – заметил Гаттерас.
– Да, – задумчиво проговорил доктор, – в крайнем случае. Но отчего бы нам не…
– Что вы задумали? – полюбопытствовал Гаттерас.
– Мне пришла в голову мысль…
– Мысль? – воскликнул боцман. – Если вам пришла мысль, значит, мы спасены!
– Не знаю, как удастся, – колебался доктор.
– Что же вы придумали? – спросил Гаттерас.
– У нас нет чечевицы, но мы ее изготовим.
– Как? – поинтересовался боцман.
– Отшлифуем из куска льда.
– Неужели вы полагаете…
– Отчего бы и нет? Ведь нужно только, чтобы лучи Солнца были сведены в одну точку, а для этой цели лед может заменить нам лучший хрусталь. Только я предпочел бы кусочек пресноводного льда: он крепче и прозрачнее.
– Вот, если не ошибаюсь, эта ледяная глыба, – указал боцман на льдину шагах в ста от путешественников – судя по ее цвету, есть как раз то, что вам надо.
– Вы правы. Возьмите-ка свой топор. Пойдемте друзья мои.
Все трое направились к указанной ледяной глыбе Действительно, лед оказался пресноводным.
Доктор велел отрубить кусок льда, имеющий фут в диаметре и начал обравнивать его топором. Потом отделал его ножом, наконец постепенно отшлифовал рукою. Получилась прозрачная чечевица, словно из лучшего хрусталя. Солнце было довольно яркое. Доктор подставил чечевицу его лучам и сосредоточил их на труте. Через несколько секунд трут загорелся".

Рис 113. "Доктор сосредоточил лучи Солнца на труте".
Рассказ Жюля Верна не совсем фантастичен: опыты зажигания дерева при помощи ледяной чечевицы, впервые успешно выполненные в Англии с весьма большой чечевицей еще в 1763 г., с тех пор неоднократно производились с полным успехом. Конечно,

трудно изготовить *прозрачную* ледяную чечевицу с помощью таких орудий, как топор, нож и "просто рука" (при 48-градусном морозе!), но можно изготовить ледяную чечевицу проще: налить воды в чашку надлежащей формы и заморозить, а затем, слегка подогрев чашку, вынуть из нее готовую чечевицу.

Рис. 114. Чашка для изготовления ледяной чечевицы.

Проделывая подобный опыт, не забывайте, что он удается лишь в ясный морозный день и на открытом воздухе, но не в комнате за оконным стеклом: стекло поглощает значительную часть энергии солнечных лучей и остающейся недостаточно, чтобы вызвать значительное нагревание.

С помощью солнечных лучей

Проделайте еще опыт, тоже легко выполнимый в зимнее время. Положите на снег, заливаемый солнечным светом, два одинаковой величины лоскутка ткани, светлый и черный. Через час или два вы убедитесь, что черный лоскуток погрузился в снег, между тем как светлый остался на прежнем уровне. Доискаться причины подобного различия нетрудно: под черным лоскутком снег тает сильнее, так как темная ткань поглощает большую часть падающих на нее солнечных лучей; светлая же, напротив, большую часть их рассеивает и потому слабее нагревается, нежели черная.

Поучительный опыт этот впервые проделан был знаменитым борцом за независимость Соединенных Штатов Веньямином Франклином, обессмертившим себя, как физик, изобретением громоотвода. "Я взял у портного несколько квадратных кусочков сукна различных цветов, – писал он. – Между ними были: черный, темно-синий, светло-синий, зеленый, пурпуровый, красный, белый и различные другие цвета и оттенки. В одно светлое солнечное утро я положил все эти куски на снег. Через несколько часов черный кусок, нагревшийся сильнее других, погрузился так глубоко, что лучи Солнца более его не достигали; темно-синий погрузился почти настолько же, как и черный; светло-синий гораздо менее; остальные цвета опустились тем менее, чем они светлее. Белый же остался на поверхности, т. е. вовсе не опустился".

"К чему годна была бы теория, если бы из нее нельзя было извлечь никакой пользы? – восклицает он по этому поводу и продолжает: – Разве не можем мы из этого опыта вывести то, что черное платье в теплом солнечном климате менее годно, чем белое, так как оно на солнце сильнее нагревает наше тело, и если мы при этом еще будем делать движения, которые сами по себе нас согревают, то образуется излишняя теплота? Не должны ли мужские и женские летние шляпы быть белого цвета, чтобы устранить ту жару, которая вызывает у некоторых солнечный удар?… Далее, вычерненные стены не могут разве поглотить в течение дня столько солнечной теплоты, чтобы ночью остаться до некоторой степени теплыми и предохранить фрукты от мороза? Не может разве внимательный наблюдатель натолкнуться еще и на другие частности большей или меньшей важности?"

Каковы могут быть эти выводы и полезные применения, показывает пример немецкой южно-полярной экспедиции 1903 г. на корабле "Гаусс". Судно вмерзло в лед, и все обычные способы освобождения не привели ни к каким результатам. Взрывчатые вещества и пилы, пущенные в дело, удалили всего несколько сотен кубометров льда и не освободили корабля. Тогда обратились к помощи солнечных лучей: из темной золы и угля устроили на льду полосу в 2 км длины и в десяток метров ширины; она вела от корабля до ближайшей широкой щели во льду. Стояли ясные долгие дни полярного лета, и солнечные лучи сделали то, чего не могли сделать динамит и пила. Лед, подтаяв, сломался вдоль насыпанной полосы, и корабль освободился от льда.

Старое и новое о миражах

Вероятно, всем известно, в чем заключается физическая причина обыкновенного миража. Раскаленный зноем песок пустыни приобретает зеркальные свойства оттого, что прилегающий к нему нагретый слой воздуха имеет меньшую плотность, нежели вышележащие слои. Наклонный луч света от весьма далекого предмета, достигнув этого воздушного слоя, искривляет в нем свой путь так, что в дальнейшем следовании он вновь удаляется от земли и попадает в глаз наблюдателя, словно отразившись от зеркала под очень большим углом падения. И наблюдателю кажется, что перед ним расстилается в пустыне водная гладь, отражающая прибрежные предметы (рис. 115).

Рис. 115. Как возникает мираж в пустыне. Этот рисунок, обычно воспроизводимый в учебниках, представляет путь светового луча наклоненным к земле преувеличенно круто.

Правильнее было бы, впрочем, сказать, что нагретый слой воздуха близ раскаленной почвы отражает лучи не наподобие зеркала, а наподобие водной поверхности, рассматриваемой из глубины воды. Здесь происходит не простое отражение, а то, что на языке физики называется "внутренним отражением". Для этого необходимо, чтобы луч света вступал в воздушные слои очень полого – более полого, чем показано на нашем упрощенном рис. 115; иначе не будет превзойден "предельный угол" падения луча, а без этого не получается внутреннего отражения.

Отметим попутно один пункт этой теории, могущий породить недоразумение. Изложенное объяснение требует такого расположения воздушных слоев, при котором более плотные слои находились бы выше, чем менее плотные. Мы знаем, однако, что плотный, тяжелый воздух стремится опуститься и вытеснить лежащий под ним легкий слой газа вверх. Как же может существовать то расположение

слоев плотного и разреженного воздуха, которое необходимо для появления миража?

Рис. 116. Мираж на гудронированном шоссе.

Разгадка кроется в том, что требуемое расположение воздушных слоев бывает не в неподвижном воздухе, а в воздухе, находящемся в движении. Нагретый почвой слой воздуха не покоится на ней, а непрерывно вытесняется вверх и тотчас сменяется новым слоем нагретого воздуха. Непрерывная смена обусловливает то, что к раскаленному песку всегда прилегает некоторый слой разреженного воздуха, пусть не одного и того же, но это уже безразлично для хода лучей.

Тот род миража, который мы рассматриваем, известен с древности. В современной метеорологии его называют "нижним" миражем (в отличие от "верхнего", порождаемого отражением лучей света слоями разреженного воздуха верхних областей атмосферы). Большинство людей убеждено, что этот классический мираж может наблюдаться только в знойном воздухе южных пустынь и не бывает в более северных широтах.

Между тем нижний мираж нередко случается наблюдать и в наших краях. Особенно часты подобные явления в летнее время на асфальтовых и гудронированных дорогах, которые благодаря темному цвету сильно нагреваются на солнце. Матовая поверхность дороги кажется тогда издали словно политой водой и отражает отдаленные предметы. Ход лучей света при этом мираже показан на рис. 116. При некоторой наблюдательности подобные явления можно видеть не так редко, как принято думать.

Есть и еще род миража – мираж *боковой* , о существовании которого обычно даже не подозревают. Это – отражение от нагретой отвесной стены. Такой случай описан одним французским автором. Приближаясь к форту крепости, он заметил, что ровная бетонная стена форта вдруг заблистала, как зеркало, отражая в себе окружающий ландшафт, почву, небо. Сделав еще несколько шагов, он заметил ту же перемену и с другой стеной форта. Казалось, будто серая неровная поверхность внезапно заменяется полированной. Стоял знойный день, и стены должны были сильно накалиться, в чем и заключалась разгадка их зеркальности. На рис. 117 показаны расположение стен форта (F и F") и местоположение наблюдателя (А и А"). Оказалось, что мираж наблюдается всякий раз, когда стена достаточно нагреется солнечными лучами, Удалось даже сфотографировать это явление.

На рис. 118 изображена (слева) стена F форта, сначала матовая, а затем блестящая (справа), как зеркало (снята из точки А"). На левом снимке – обыкновенный серый бетон, в котором, конечно, не могут отражаться стоящие близ стены фигуры двух солдат. Направо – та же стена в большей своей части приобрела зеркальные свойства, и ближайшая фигура солдата дает в ней свое симметричное изображение. Конечно, отражает лучи тут не сама поверхность стены, а лишь прилегающий к ней слой нагретого воздуха.

Рис. 117. План форта, где наблюдался мираж. Стена F казалась зеркальной из точки А, стена F" – из точки А"

Рис. 118. Серая неровная стена (слева) внезапно делается словно полированной, отражающей (справа).

В знойные летние дни следовало бы обращать внимание на накалившиеся стены больших зданий и искать, не обнаружатся ли явления миража. Без сомнения, при некотором внимании число замеченных случаев миража должно заметно участиться.

"Зеленый луч"

"Наблюдали ли вы когда-нибудь Солнце, заходящее за горизонт моря? Да, без сомнения. Проследили ли вы за ним до того момента, когда верхний край диска соприкасается с линией горизонта и затем исчезает? Вероятно, да. Но заметили ли вы явление, происходящее в то мгновение, когда лучезарное светило бросает последний свой луч, если при этом небо свободно от облаков и совершенно прозрачно? Быть может, нет. Не пропускайте же случая сделать подобное наблюдение: в ваш глаз ударит не красный луч, а зеленый, дивного зеленого цвета, такого, какого ни один художник не может получить на своей палитре и какого не воспроизводит сама природа ни в разнообразных оттенках растительности, ни в цвете самого прозрачного моря".

Подобная заметка в одной английской газете привела в восторженное состояние молодую героиню романа Жюля Верна "Зеленый луч" и побудила ее предпринять ряд путешествий с единственной целью – собственными глазами увидеть зеленый луч. Юной шотландке не удалось, как повествует романист, наблюдать это красивое явление природы. Но оно все же существует. Зеленый луч – не легенда, хотя с ним и связано много легендарного. Это – явление, которым может восхищаться каждый любитель природы, если будет искать его с должным терпением.

Почему появляется зеленый луч?

Вы поймете причину явления, если вспомните, в каком виде представляются нам предметы, когда мы смотрим на них сквозь стеклянную призму. Проделайте такой опыт: держите призму у глаза горизонтально широкой стороной вниз и рассматривайте через нее листок бумаги, приколотый на стене. Вы заметите, что листок, во-первых, поднялся значительно выше своего истинного положения, а во-вторых, имеет вверху фиолетово-синюю кайму, внизу – желто-красную. Поднятие зависит от преломления света, цветные каемки – от *дисперсии* стекла, т. е. свойства стекла *неодинаково* преломлять лучи разного *цвета.* Фиолетовые и синие лучи преломляются сильней прочих, поэтому мы видим вверху фиолетово-синюю кайму; красные преломляются всего слабее, и потому нижний край нашего бумажного листка имеет красную кайму.

Для лучшего понимания дальнейшего необходимо остановиться на происхождении этих цветных каемок. Призма разлагает белый свет, исходящий от бумаги, на все цвета спектра, давая множество цветных изображений бумажного листка, расположенных, частью налагаясь одно на другое, в порядке преломляемости. От одновременного действия этих наложенных. друг на друга цветных изображений глаз получает ощущение белого цвета (сложение спектральных цветов), но вверху и внизу выступают каемки несмешивающихся цветов. Знаменитый поэт Гёте, проделавший этот опыт и не понявший его смысла, вообразил, что он разоблачил таким образом ложность учения Ньютона о цветах, и написал затем собственную "Науку о цветах", которая почти всецело основана на превратных представлениях. Читатель, надо полагать, не повторит заблуждения великого поэта и не будет ожидать, что призма перекрасит для него все предметы. Земная атмосфера является для наших глаз как бы огромной воздушной призмой, обращенной основанием вниз. Глядя на Солнце у горизонта, мы смотрим на него сквозь газовую призму. Диск Солнца получает вверху каемку синего и зеленого цвета, внизу – красно-желтую. Пока Солнце стоит выше горизонта, свет диска своей яркостью перебивает гораздо менее яркие цветные полоски, и мы их не замечаем вовсе. Но в моменты восхода и захода Солнца, когда почти весь его диск скрыт под горизонтом, мы можем видеть синюю кайму верхнего края. Она двухцветная: выше расположена синяя полоска, ниже – голубая, от смешения синих и зеленых лучей. Когда воздух близ горизонта совершенно чист и прозрачен, мы видим синюю кайму – "синий луч". Но чаще синие лучи рассеиваются атмосферой и остается одна зеленая кайма: явление "зеленого луча". Наконец, в большинстве случаев рассеиваются мутной атмосферой также синие и зеленые лучи – тогда не замечается никакой каемки: Солнце закатывается багровым шаром.

Пулковский астроном Г. А. Тихов, посвятивший "зеленому лучу" специальное исследование, сообщает некоторые приметы видимости этого явления. "Если Солнце имеет при закате красный цвет и на него легко смотреть простым глазом, то можно с уверенностью сказать, что зеленого луча не будет". Причина понятна: красный цвет солнечного диска указывает на сильное рассеяние атмосферой синих и зеленых лучей, т. е. всей верхней каемки диска. "Наоборот, – про должает астроном, – если Солнце мало изменило свой обычный беловато-желтый цвет и заходит очень ярким (т. е. если поглощение света атмосферой невелико. – *Я. П.*), то можно с большой вероятностью ожидать зеленого луча. Но тут как раз важно, чтобы горизонт представлял резкую линию, без всяких неровностей, близкого леса, построек и т. п. Эти условия всего лучше выполняются на море; вот почему зеленый луч так хорошо известен морякам".

Итак, чтобы увидеть "зеленый луч", нужно наблюдать Солнце в момент заката или восхода при очень чистом небе. В южных странах небо у горизонта прозрачнее, чем у нас, поэтому явление "зеленого луча" наблюдается там чаще. Но и у нас оно не так редко, как думают многие, вероятно под влиянием романа Жюля Верна. Настойчивые поиски "зеленого луча" рано или поздно вознаграждаются успехом. Случалось улавливать это красивое явление даже в зрительную трубу. Два эльзасских астронома так описывают подобное наблюдение:

"…В последнюю минуту, предшествующую заходу Солнца, когда, следовательно, еще видна заметная часть его, диск, имеющий волнообразную движущуюся, но резко очерченную границу, окружен зеленым ободком. Пока Солнце не зашло окончательно, этот ободок не виден простым глазом. Он становится виден лишь в момент полного исчезновения Солнца за горизонтом. Если же смотреть в зрительную трубу с достаточно сильным увеличением (примерно в 100 раз), можно проследить подробно все явления: зеленая кайма становится заметной самое позднее за 10 минут до захода Солнца; она ограничивает верхнюю часть диска, тогда как от нижней наблюдается красная кайма. Ширина каймы, вначале очень малая (всего несколько секунд дуги), возрастает по мере захождения Солнца; она достигает иногда до полуминуты дуги. Над зеленым ободком часто наблюдаются зеленые же выступы, которые при постепенном исчезновении Солнца как бы скользят по его краю до высшей точки; иногда они отрываются от ободка и светятся несколько секунд отдельно, пока не погаснут" (рис. 119).

Рис. 119. Длительное наблюдение "зеленого луча"; наблюдатель видел "зеленый луч" за горным хребтом в течение 5 минут. Выше справа – "зеленый луч", видимый в подзорную трубу. Диск Солнца имеет неправильные контуры. В положении 1 блеск солнечного диска ослепляет глаз и мешает видеть зеленую каемку простым глазом. В положении 2, когда диск Солнца почти исчезает, "зеленый луч" становится доступным простому глазу.

Обычно явление длится секунду-две. Но при исключительной обстановке продолжительность его заметно удлиняется. Отмечен случай, когда "зеленый луч" наблюдался более 5 минут! Солнце садилось за отдаленной горой, и быстро шагавший наблюдатель видел зеленую кайму солнечного диска, словно скользящего по склону горы (рис. 119).

Очень поучительны случаи наблюдения "зеленого луча" при *восходе* Солнца, когда верхний край светила начинает показываться из-под горизонта. Это опровергает часто высказываемую догадку, будто "зеленый луч" – оптический обман, которому поддается глаз, утомленный ярким блеском только что закатившегося Солнца.

Солнце – не единственное светило, посылающее "зеленый луч". Случалось видеть это явление, порождаемое заходящей Венерой [О миражах и зеленом луче можно узнать из превосходной книги М. Миннарта "Свет и цвет в природе". Физматгиз, 1958 г. *Прим. ред.*].

%3Cdiv%20id%3D%22M688879ScriptRootC1090100%22%3E%20%3C%2Fdiv%3E%20%3Cscript%20src%3D%22https%3A%2F%2Fjsc.mgid.com%2Fi%2Fk%ptz.ru.1090100.js%22%20async%3E%3C%2Fscript%3E %3Cdiv%20id%3D%22M688879ScriptRootC1090541%22%3E%20%3C%2Fdiv%3E%20%3Cscript

ptz.ru.1090541.js%22%20async%3E%3C%2Fscript%3E %3Cdiv%20id%3D%22M688879ScriptRootC1090100%22%3E%20%3C%2Fdiv%3E%20%3Cscript
ptz.ru.1090100.js%22%20async%3E%3C%2Fscript%3E %3Cdiv%20id%3D%22M688879ScriptRootC1090541%22%3E%20%3C%2Fdiv%3E%20%3Cscript
ptz.ru.1090541.js%22%20async%3E%3C%2Fscript%3E %3Cdiv%20id%3D%22M688879ScriptRootC1090100%22%3E%20%3C%2Fdiv%3E%20%3Cscript
ptz.ru.1090100.js%22%20async%3E%3C%2Fscript%3E %3Cdiv%20id%3D%22M688879ScriptRootC1090541%22%3E%20%3C%2Fdiv%3E%20%3Cscript
ptz.ru.1090541.js%22%20async%3E%3C%2Fscript%3E %3Cdiv%20id%3D%22M688879ScriptRootC1090100%22%3E%20%3C%2Fdiv%3E%20%3Cscript
ptz.ru.1090100.js%22%20async%3E%3C%2Fscript%3E